

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11072639  
 PUBLICATION DATE : 16-03-99

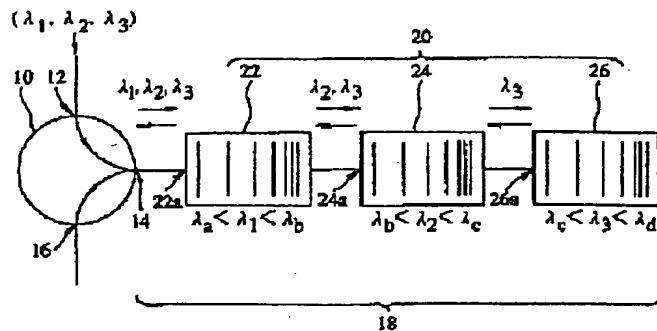
APPLICATION DATE : 28-08-97  
 APPLICATION NUMBER : 09233041

APPLICANT : OKI ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : NOMOTO TSUTOMU;

INT.CL. : G02B 6/16 G02B 6/10

TITLE : WAVELENGTH DISPERSION  
 COMPENSATOR AND WAVELENGTH  
 DISPERSION COMPENSATION FIBER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To compensate the wavelength dispersion of light signals of plural wavelengths over a wide wavelength band without increasing the length of chirped fiber gratings.

SOLUTION: The surface of an optical fiber 18 is provided with a first chirp grating 22, second chirp grating 24 and third chirp grating 26 from the input/ output port 14 side of an optical circulator 10 in order of the shorter wavelengths of the Bragg reflection wavelength band. The respective chirp gratings are disposed by directing the grating ends on the side where the intergrating spacings are wider toward the optical circulator 10 side respectively on the optical path 18.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-72639

(43) 公開日 平成11年(1999)3月16日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 2 B 6/16  
6/10

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16  
6/10

C

審査請求 未請求 請求項の数 6 O.L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-233041

(22) 出願日 平成9年(1997)8月28日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 佐々木 健介

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

(72) 発明者 尾関 幸宏

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

(72) 発明者 野本 勉

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

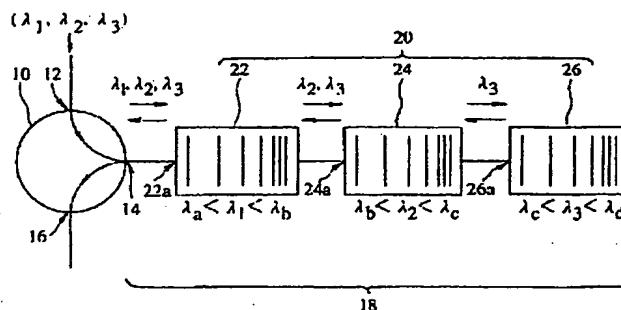
(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

(54) 【発明の名称】 波長分散補償器および波長分散補償ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 チャーブドファイバーグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域わたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図る。

【解決手段】 光ファイバ18上に、プラグ反射波長帯域の波長が短い順に、光サーキュレータ10の入出力ポート14側から、第1チャーブ・グレーティング22、第2チャーブ・グレーティング24および第3チャーブ・グレーティング26を設けてある。各チャーブ・グレーティングは、格子間隔の広い側のグレーティング端をそれぞれ光路18上で光サーキュレータ10側に向けて設けてある。



10: 光サーキュレータ 12: 入力ポート  
14: 入出力ポート 16: 出力ポート  
18: 第1光路 (光路) 20: チャーブ・グレーティング  
22: 第1チャーブ・グレーティング  
22a, 24a, 26a: グレーティング端  
24: 第2チャーブ・グレーティング  
26: 第3チャーブ・グレーティング

第1の実施の形態

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力ポート、入出力ポートおよび出力ポートを有する光サーキュレータと、前記入出力ポートに接続された光路上に直列に設けられた、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバーグレーティングとを具え、前記チャーブドファイバーグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路上で前記光サーキュレータ側にそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項2】 請求項1に記載の波長分散補償器において、前記チャーブドファイバーグレーティングの各々を、プラグ反射波長帯域の波長の短い順に、前記光サーキュレータ側から設けてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項3】 請求項1に記載の波長分散補償器において、

前記入出力ポートを複数個とし、

それぞれの前記光路上に設けられた前記チャーブドファイバーグレーティングの個数を同数とし、

前記光路毎のこれらチャーブドファイバーグレーティングの前記異なるプラグ反射波長帯域の組合せを、それぞれの前記光路で、同一の組合せとしてあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項4】 請求項1に記載の波長分散補償器において、

前記光路を、光ファイバを以って構成してあり、

該光ファイバのコアに、複数の前記チャーブドファイバーグレーティングをそれぞれ形成してあることを特徴とする波長分散補償器。

【請求項5】 光ファイバのコアに、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバーグレーティングを、当該光ファイバの軸方向に沿って直列にそれぞれ設けてあり、

前記チャーブドファイバーグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端をそれぞれ前記軸方向の一方の向きにそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする波長分散補償ファイバ。

【請求項6】 請求項5に記載の波長分散補償ファイバにおいて、

前記チャーブドファイバーグレーティングを、前記格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からプラグ反射波長帯域の波長の短い順に設けてあることを特徴とする波長分散補償ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光信号、例えば、波長多重(WDM)光信号の波長分散補償に用いて好適な波長分散補償器および波長分散補償ファイバに関

する。

## 【0002】

【従来の技術】光信号は、ある程度の波長幅を有する。このため、波長1.3μmより伝送損失が小さい波長1.55μm付近の光信号がシングルモードファイバ(1.3μm等分散の光ファイバ)を長距離伝送する場合、この光ファイバを伝送する光信号には、伝送距離に比例して波長分散が生じる。すなわち、光信号のうちの長波長成分が短波長成分よりも遅れて伝送先に到達する。

【0003】この波長分散を補償する方法の一例が文献1:「分光研究、第45巻、第6号(1996)p.302」に開示されている。この文献に開示の技術によれば、ファイバーブラググレーティング(以下、「FBG」とも表記する。)の格子間隔を軸方向(光の導波方向)に沿って単調に変化させたチャーブドファイバーグレーティング(「チャーブ・グレーティング」とも称する。)を用いて波長分散を補償している。

【0004】波長分散の補償にあたっては、波長分散が生じた光信号をチャーブ・グレーティングへその格子間隔の広い側から入射する。入射された光信号の短波長成分は、入射端から遠い部分で反射される。一方、光信号の長波長成分は、入射端に近い部分で反射される。その結果、短波長成分と長波長成分との間には、これらの反射位置どうしの距離の2倍の光路差が生じる。その結果、この光路差の分だけ長波長成分と短波長成分との時間差を短縮して、波長分散を補償することができる。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】互いに異なる複数の波長の光信号(例えば、波長多重(WDM)光信号)の波長分散を1つのチャーブ・グレーティングでそれぞれ補償するためには、そのチャーブ・グレーティングのプラグ反射波長の波長帯域を、補償される光信号の波長帯域以上に広くすることが必要である。チャーブ・グレーティングのプラグ反射波長の波長帯域、すなわち補償可能な波長帯域を広くするためには、チャーブ・グレーティングの最大格子間隔と最小格子間隔との差を大きくする必要がある。最大格子間隔と最小格子間隔との差を大きくして、補償可能な波長帯域を広くする方法として、例えば、次の2つの方法が考えられる。

【0006】第1の方法は、チャーブ・グレーティングの長さを一定にしたままで、格子間隔の導波方向に沿った変化の割合(以下、「勾配」とも称する。)を急にする方法である。しかし、格子間隔を急勾配にすると、光信号の短波長成分の反射位置と長波長成分の反射位置との距離が短くなる。その結果、短波長成分と長波長成分との間の光路差が小さくなる。このため、格子間隔を急勾配にすると、波長分散の補償が可能な光信号の伝送距離が短くなるおそれがある。

【0007】第2の方法は、格子間隔の勾配を一定にし

たままで、チャーブ・グレーティングの長さを長くする方法である。しかし、チャーブ・グレーティングをはじめとするFBGの長さは、FBGを製造する際に使用する位相マスクの長さによって実質的に制約を受ける。例えば、位相マスクの長さは、最大100mm程度である。このため、100mm程度以上の長さのFBGを製造することは困難である。

【0008】その上、FBGが長尺になるほど、FBGの加工精度は低下する。例えば、FBGを長尺化するほど、FBGのコアの長手方向に沿った屈折率分布の設計値からのはずれが大きくなる。その結果、例えばFBGのブレーリング反射強度が波長によって異なってしまうといった問題が生じる。

【0009】このため、チャーブドファイバグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる波長分散補償器および波長分散補償ファイバの出現が望まれていた。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】この出願に係る発明者は、種々の実験および検討を重ねた結果、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散を補償を、個々の波長の光信号毎に、個別のチャーブドファイバグレーティングで行なえば良いことに想到した。

【0011】そこで、この発明の波長分散補償器によれば、入力ポート、入出力ポートおよび出力ポートを有する光サーチュレータと、入出力ポートに接続された光路上に直列に設けられた、互いに異なるブレーリング反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバグレーティングとを具え、チャーブドファイバグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路上で光サーチュレータ側にそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする。

【0012】この発明の波長分散補償器において複数の波長の光信号の波長分散を補償するにあたっては、まず、各光信号をそれぞれ光サーチュレータの入力ポートに入射する。入力ポートに入射した光信号は、光サーチュレータの入出力ポートから出射する。入出力ポートから出射した光信号は、この入出力ポートに接続された光路を進む。

【0013】この光路上には、複数のチャーブドファイバグレーティング（チャーブ・グレーティング）が直列に設けてある。各チャーブ・グレーティングは、それぞれ互いに異なるブレーリング反射波長帯域を有する。このため、複数の波長の光信号は、その光信号の波長を含むブレーリング反射帯域を有するチャーブ・グレーティングにおいてそれぞれ反射される。その結果、複数の波長の光信号の波長分散は、例えば、個々の光信号ごとに個別のチャーブ・グレーティングにおいてそれぞれ補償される。尚、個々のチャーブ・グレーティングにおける波長

分散の補償原理は、従来の補償原理と同じである。

【0014】各チャーブ・グレーティングでそれぞれ反射されて補償された各光信号は、それぞれ光サーチュレータの入出力ポートに入射する。入出力ポートに入射した各光信号は、光サーチュレータの出力ポートから出射する。

【0015】このように、この発明の波長分散補償器によれば、互いに異なるブレーリング反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバグレーティング（チャーブ・グレーティング）を設けている。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャーブ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャーブ・グレーティングの補償可能波長帯域を、1つの波長の光信号の波長分散の補償に必要な波長帯域だけに限定することもできる。無論、チャーブ・グレーティングの補償可能波長帯域を、より広い例えば2つの波長の光信号を含む波長帯域に対応した波長帯域に限定しても良い。

【0016】従って、この発明では、個々のチャーブ・グレーティングの補償可能波長帯域を、補償対象の各光信号の全ての波長を含む波長帯域にまで拡げる必要がない。このため、この発明では、各チャーブ・グレーティングを長尺化する必要がない。そして、この発明では、光信号の複数の波長にそれぞれ合わせて、複数のチャーブ・グレーティングを設けることができるので、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、FBGを長尺化することなく広い波長帯域わたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0017】ところで、チャーブドファイバグレーティングをはじめとするFBGを透過する光は、そのFBGのブレーリング反射波長よりも短波長側の成分に損失が発生する（例えば、文献2：「電子情報通信学会論文誌C-1 Vol. J80-C-1 No. 1 pp. 32-40 1997年1月」の第35頁の図6参照。）。

【0018】そこで、グレーティングのブレーリング反射波長よりも短波長側の成分の損失の発生を抑制するために、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、チャーブドファイバグレーティングを、ブレーリング反射波長帯域の波長が短い順に、光サーチュレータ側から設けてあるのが良い。

【0019】このように、この発明の波長分散補償器において、ブレーリング反射波長帯域の波長が短い順にチャーブ・グレーティングを配置すれば、各波長の光信号は、当該光信号の波長よりも短いブレーリング反射波長帯域を有するチャーブ・グレーティングを透過することになる。すなわち、各光信号の波長が、当該光信号の透過するチャーブ・グレーティングのブレーリング反射波長よりも短くなる場合を無くすることができる。その結果、前述した

プラグ反射波長よりも短波長側の成分であるために生じる損失が、各光信号に発生することを回避することができる。このため、チャーブ・グレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0020】ところで、各チャーブ・グレーティングにおいて補償できる最大時間差は、当該チャーブ・グレーティングの長さの2倍の光路差に相当する時間差である。従って、波長分散による長波長成分と短波長成分との時間差が、この最大時間差よりも大きくなるような場合には、チャーブ・グレーティングでの1回の反射による補償だけでは、十分な補償ができないおそれがある。

【0021】そこで、より大きな波長分散の補償を図るために、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、入出力ポートを複数個とし、それぞれの光路上に設けられたチャーブドファイバーグレーティングの個数を同数とし、光路毎のこれらチャーブドファイバーグレーティングの異なるプラグ反射波長帯域の組合せを、各光路で、同一の組合せとしてあると良い。

【0022】光サーキュレータの入力ポートに入射した複数の波長の光信号は、先ず、光サーキュレータの1番目の入出力ポートから出射する。1番目の入出力ポートから出射した各光信号は、各チャーブ・グレーティングのいずれかで波長毎に反射されてある程度波長分散補償されて、1番目の入出力ポートに入射する。

【0023】次に、1番目の入出力ポートから入射した各光信号は、光サーキュレータの2番目の入出力ポートから出射する。2番目の入出力ポートから出射した各光信号は、各チャーブ・グレーティングのいずれかで波長毎に反射されて、さらに波長分散補償されて、2番目の入出力ポートに入射する。この段階では、ある程度補償された光信号をさらに補償するので、より一層波長分散の補償を図ることができる。さらに、3番目以上の入出力ポートを設て、波長分散補償を繰返しても良い。

【0024】このように、光サーキュレータの入出力ポートを複数個とし、各光路ごとのチャーブ・グレーティングの異なるプラグ反射波長帯域の組合せを、各光路で同一の組合せてすれば、複数の波長の光信号の波長分散の補償を、各波長の光信号についてそれぞれ複数回行なうことができる。その結果、チャーブ・グレーティングでの1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きさの波長分散を補償することができる。このため、より大きな波長分散の補償を図ることができる。

【0025】また、波長分散の補償を図る場合には、補償に必要な波長成分間の光路長差を、複数のチャーブ・グレーティングで分けて生じさせることができる。このため、個々のチャーブ・グレーティングで生じさせる光路長差を小さくすることができる。その結果、個々のチャーブ・グレーティングの長さを短くすることができる。また、個々のチャーブ・グレーティングの勾配を急勾配とすることもできる。

【0026】また、この発明の波長分散補償器において、好ましくは、前記光路を、光ファイバを以って構成してあり、該光ファイバのコアに、複数の前記チャーブドファイバーグレーティングをそれぞれ形成してあるのが良い。

【0027】このように、複数のチャーブドファイバーグレーティングを1本の光ファイバに形成すれば、個々のチャーブドファイバーグレーティングどうしを融着したりコネクタを介して接続する場合に比べて、接続による光信号の損失の発生を抑制することができる。尚、複数のチャーブドファイバーグレーティングを形成したこの光ファイバは、後述する、この発明の波長分散補償ファイバに相当する。

【0028】この発明の波長分散補償ファイバによれば、光ファイバのコアに、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバーグレーティングを、当該光ファイバの軸方向に沿って直列にそれぞれ設けてあり、チャーブドファイバーグレーティングの各々を、格子間隔の広い側のグレーティング端を軸方向の一方の向きにそれぞれ向けて設けてあることを特徴とする。

【0029】このように、この発明の波長分散補償ファイバによれば、光ファイバのコアに、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバーグレーティング（チャーブ・グレーティング）を設けている。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャーブ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャーブ・グレーティングの補償可能波長帯域を、補償対象の各光信号の全ての波長を含む波長帯域にまで拡げる必要がない。このため、この発明では、個々のチャーブ・グレーティングを長尺化する必要がない。そして、この発明では、チャーブ・グレーティングの数を増やすことにより、より広い波長帯域にわたるより多くの波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、チャーブドファイバーグレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域わたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0030】また、この発明の波長分散補償ファイバにおいて、好ましくは、チャーブドファイバーグレーティングを、格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からプラグ反射波長帯域の波長の短い順に設けてあると良い。

【0031】このように、この発明の波長分散補償ファイバにおいて、格子間隔の広い側のグレーティング端の軸方向からプラグ反射波長帯域の波長が短い順にチャーブドファイバーグレーティングを配置すれば、チャーブドファイバーグレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバの実施の形態について併せて説明する。尚、参照する図面は、この発明が理解できる程度に各構成成分の大きさ、形状および配置関係を概略的に示してあるに過ぎない。従って、この発明は図示例に限定されるものではない。

【0033】(第1の実施の形態)図1を参照して、第1の実施の形態の波長分散補償器について説明する。図1は、第1の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する構成図である。

【0034】第1の実施の形態の波長分散補償器は、光サーチュレータ10を具えている。この光サーチュレータ10は、入力ポート12、入出力ポート14および出力ポート16を有する。

【0035】そして、この入出力ポート14には、光路18が接続されている。この光路18上には、複数のチャーブドファイバーグレーティング(チャーブ・グレーティング)20が直列に設けてある。チャーブ・グレーティング20の各々は、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する。

【0036】この実施の形態では、チャーブ・グレーティング20として、第1チャーブ・グレーティング22、第2チャーブ・グレーティング24および第3チャーブ・グレーティング26を設けている。

【0037】そして、この第1チャーブ・グレーティング22は、波長入a～入b(入a<入b)のプラグ反射波長帯域を有する。また、この第2チャーブ・グレーティング24は、波長入b～入c(入b<入c)のプラグ反射波長帯域を有する。また、この第3チャーブ・グレーティング26は、波長入c～入d(入c<入d)のプラグ反射波長帯域を有する。尚、この実施の形態では、チャーブ・グレーティング20の各々のプラグ反射波長帯域どうしを連続させているが、この発明では、プラグ反射波長帯域どうしは、必ずしも連続していないとも良い。

【0038】尚、図1においては、チャーブ・グレーティング22、24および26の部分に回折格子模様を模式的に示してあるが、この回折格子模様の格子間隔は、実際の格子間隔とは関係ない。実際の格子間隔は、チャーブ・グレーティング毎に異なっている。

【0039】また、この実施の形態においては、チャーブ・グレーティング20の各々を、プラグ反射波長帯域の波長が短い順にサーチュレータ10側から配置している。すなわち、光路18上に、光サーチュレータ10側から第1チャーブ・グレーティング22、第2チャーブ・グレーティング24および第3チャーブ・グレーティング26の順に設けてある。

【0040】また、チャーブ・グレーティング20の各々は、格子間隔の広い側のグレーティング端を光路18上で光サーチュレータ10側にそれぞれ向けて設けてあ

る。具体的には、第1、第2および第3チャーブ・グレーティング22、24および26は、それぞれの格子間隔の広い側のグレーティング端22a、24aおよび26aをそれぞれ光サーチュレータ10側(図1の紙面上で左側)に向けて配置してある。

【0041】また、この実施の形態においては、光路18を光ファイバ(波長分散補償ファイバ)28で以って構成してある。

【0042】ここで、図2を参照して、この実施の形態の波長分散補償器の光路18を構成する波長分散補償ファイバ28について説明する。図2は、波長分散補償ファイバ28の説明に供する模式図であり、光ファイバの軸方向に沿った断面図である。

【0043】尚、図2においては、断面を表すハッチングを省略する。また、図2においては、チャーブ・グレーティング22、24および26の部分に回折格子模様を模式的に示してあるが、この回折格子模様の格子間隔は、実際の格子間隔とは関係ない。実際の格子間隔は、プラグ反射波長帯域が互いに異なるためにチャーブ・グレーティング毎に異なっている。

【0044】この波長分散補償ファイバ28は、ファイバ28の軸方向の中心部のコア30と、その周囲のクラッド32を以って構成されている。そして、このコア30に、複数のチャーブ・グレーティングを光ファイバ28の軸方向に沿って直列にそれぞれ形成してある。

【0045】また、この実施の形態で用いる光ファイバ28は、酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)を主成分とする材料で形成されている。また、この光ファイバ28の直径は、110～130μm程度である。また、コア30の直径は10μm程度である。また、隣り合ったチャーブ・グレーティングどうしの間隔は、任意の間隔として良い。例えば、隣り合ったチャーブ・グレーティングを間隔をあけずに連続させても良い。

【0046】光ファイバ28のコア30にチャーブ・グレーティングを形成するにあたっては従来周知のFBGの形成方法を用いると良い。このFBGの形成方法としては、例えば、文献3:「米国特許5367588号」に開示されている位相マスク法を用いると良い。

【0047】位相マスク法においては、位相マスクを介して光ファイバに紫外線光を照射する。この発明の波長分散補償ファイバ28においては、個々のチャーブ・グレーティングごとに、個別の位相マスクを介して紫外線光を照射する。このため、位相マスクの大きさは、個々のチャーブ・グレーティングの長さ程度(例えば100mm程度)で良い。従って、波長分散補償ファイバ28全体の長さは、位相マスクの大きさの制約を受けない。

【0048】位相マスクは、紫外線光の透過が可能な板状体である。この板状体の表面には、複数個の凹凸が形成されている。各凹部は、徐々に間隔を広くしながら直線的に配列している。そして、位相マスクに照射され

た紫外線光は、これら凹部により回折する。その回折光の強度は、凹部の配列間隔に応じた位置で強められたり弱められたりする。一方、光ファイバのコアは、紫外線光の照射によってその屈折率が変化する材料で形成されている（このような光ファイバを光感光性ファイバと称する。）。この回折光が光ファイバに対して照射されることにより、光ファイバのコアに、光ファイバの軸方向（延長方向、長手方向、光導波方向）に沿って、チャーブグレーティングが形成される。

【0049】次に、第1の実施の形態の波長分散補償器に、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> の波長が多重された波長多重光信号の波長分散を補償する例について説明する。

【0050】この波長入<sub>1</sub> は、第1チャーブ・グレーティング22のプラグ反射波長帯域（入a～入b）に含まれるものとする。すなわち、入a < 入<sub>1</sub> < 入bの関係が成り立つ。また、波長入<sub>2</sub> は、第2チャーブ・グレーティング24のプラグ反射波長帯域（入b～入c）に含まれるものとする。すなわち、入b < 入<sub>2</sub> < 入cの関係が成り立つ。また、波長入<sub>3</sub> は、第3チャーブ・グレーティング26のプラグ反射波長帯域（入c～入d）に含まれるものとする。すなわち、入c < 入<sub>3</sub> < 入dの関係が成り立つ。

【0051】また、実際の波長多重光信号では、例えば、1550 nm付近を中心波長として、約0.8 nm間隔で32～40個の波長の光信号を用いる。その場合は、波長の数に合わせて、例えば32個のチャーブ・グレーティングを設け、個々のチャーブ・グレーティングのプラグ反射波長帯域を光信号の各波長にそれぞれ対応させると良い。

【0052】そして、波長分散の補償を行なうにあたり、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> の光信号を、それぞれ光サーキュレータ10の入力ポート12に入射する。尚、各光信号は、入力ポート12に同時に入射しても良い。また、各光信号は、互いに異なる時刻に入射しても良い。その場合、各波長の光信号の入射の順序は問わない。

【0053】入力ポートに入射した各光信号は、光サーキュレータ10の入出力ポート14から出射する。入出力ポート14から出射した光信号は、この入出力ポートに接続された光路（波長分散補償ファイバ）18（28）に入射する。

【0054】この光路18（28）に入射した各光信号は、先ず、第1チャーブ・グレーティング22に、その格子間隔の広い側のグレーティング端22aから入射する。そして、第1チャーブ・グレーティング22において、そのプラグ反射波長帯域（入a～入b）に含まれる波長入<sub>1</sub> の光信号のみが反射される。また、波長入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> の光信号は、第1チャーブ・グレーティング22を透過する。

【0055】そして、波長入<sub>1</sub> の光信号の波長分散は、

第1チャーブ・グレーティングで反射されることによって補償される。この補償の原理は、後で図3を参照して説明するように、従来のチャーブ・グレーティングの補償の原理と同じである。

【0056】次に、第1チャーブ・グレーティング22を透過した波長入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> の光信号は、第2チャーブ・グレーティング24に、その格子間隔の広い側のグレーティング端24aから入射する。そして、第2チャーブ・グレーティング24において、そのプラグ反射波長帯域（入b～入c）に含まれる波長入<sub>2</sub> の光信号のみが反射される。また、波長入<sub>3</sub> の光信号は、第2チャーブ・グレーティング24を透過する。

【0057】そして、波長入<sub>2</sub> の光信号の波長分散は、第2チャーブ・グレーティング24で反射されることによって補償される。

【0058】次に、第2チャーブ・グレーティング24を透過した波長入<sub>3</sub> の光信号は、第3チャーブ・グレーティング26に、その格子間隔の広い側のグレーティング端26aから入射する。そして、第3チャーブ・グレーティング26のプラグ反射波長帯域（入c～入d）に含まれる波長入<sub>3</sub> の光信号は、第3チャーブ・グレーティング26において反射される。そして、波長入<sub>3</sub> の光信号の波長分散は、第3チャーブ・グレーティング26で反射されることによって補償される。

【0059】また、チャーブ・グレーティング20の各々でそれぞれ反射されて補償された各光信号は、それぞれ光サーキュレータ10の入出力ポート14に入射する。入出力ポート14に入射した各光信号は、光サーキュレータ10の出力ポート16から出射する。

【0060】このようにして、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> の光信号の波長分散をそれぞれ補償することができる。

【0061】また、この実施の形態においては、チャーブ・グレーティング20の各々をそのプラグ反射波長帯域の短い順に、光サーキュレータ10側から配置しているので、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub> および入<sub>3</sub> のいずれの光信号も、その光信号の波長よりもプラグ反射波長帯域が長いグレーティングを透過する事がない。従って、光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0062】次に、図3を参照して、チャーブ・グレーティングの補償原理について説明する。図3は、チャーブ・グレーティングの補償原理の説明に供する模式図である。図3では、第1チャーブ・グレーティング22を拡大して模式的に示す。

【0063】先ず、チャーブ・グレーティングの構成について説明する。図3に示すように、第1チャーブ・グレーティング22の格子間隔の最も広い部分の間隔を $\Delta_L$  とする。また、格子間隔の最も狭い部分の間隔を $\Delta_S$  とする。この格子間隔と、プラグ反射波長帯域の最大プラグ反射波長入<sub>b</sub> および最小プラグ反射波長入<sub>a</sub>

との間には、それぞれ下記の(1)式および(2)式の関係が成立つ。

$$【0064】\lambda a = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Delta s \quad \dots (1)$$

$$\lambda b = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Delta t \quad \dots (2)$$

但し、 $n_{eff}$  は、光ファイバ28のコア30の実効屈折率を表す。

【0065】また、第1チャーブ・グレーティング22の長さ $L$ と、その補償可能波長帯域の幅であるプラグ反射波長帯域幅 $\Delta \lambda$  ( $= \lambda b - \lambda a$ )との間には、下記の(3)式の関係が成立つ。

$$【0066】L = (D \cdot V_g \cdot \Delta \lambda) / 2 \quad \dots (3)$$

但し、 $D$ は、逆分散量を表し、 $V_g$ は、群速度を表す。

【0067】ここで、例えば、1 nm間隔で8つに波長分割された波長多重光信号の分散を補償する例について検討する。この光信号の波長の帯域は、8 nm ( $= 1 \text{ nm} \times 8$ ) にわたっている。

【0068】8 nmにわたる波長帯域を従来のように1つのチャーブ・グレーティングで補償しようとすると、グレーティングが極めて長尺となる。具体的には、上記の(3)式に、 $\Delta \lambda = 8 \text{ nm}$ 、 $D = 1800 \times 10^3 \text{ ps/nm}$ 、 $V_g = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ をそれぞれ代入して計算すると、グレーティングの長さ $L$ は、約2 mとなる。これに対して、現在の位相マスク法で形成できるFBGの長さは、せいぜい100 mm程度である。従って、2 mもの長尺のチャーブ・グレーティングを形成することは極めて困難である。

【0069】この点、この発明においては、1つのチャーブ・グレーティングで、1つの波長の波長分散だけを補償せば良い。1つの波長の光信号の波長幅は、例えば $10^{-3} \text{ nm}$ のオーダーである。一方、 $L = 100 \text{ m}$ のチャーブ・グレーティングの補償可能波長帯域の幅は、この長さを上記の(3)式に代入して計算すると、 $\Delta \lambda = 0.4 \text{ nm}$ 程度となる。従って、1つの波長の光信号の波長分散を補償するためならば、チャーブ・グレーティングの長さは、 $L = 100 \text{ mm}$ 程度で十分であることが分かる。

【0070】次に、波長 $\lambda_1$ の光信号が、第1チャーブ・グレーティング22で反射される場合について説明する。

【0071】波長 $\lambda_1$ の光信号には、波長幅がある。ここでは、この光信号の長波長成分を $\lambda_L$  ( $= \lambda_1 + \Delta$ ) と表す。また、この光信号の短波長成分を $\lambda_s$  ( $= (\lambda_1 - \Delta)$ ) と表す。波長分散の生じた光信号では、長波長成分 $\lambda_L$ は、短波長成分 $\lambda_s$ よりも遅れて第1チャーブ・グレーティング22に入射する。

【0072】第1チャーブ・グレーティング22に、その格子間隔の広い側(図3の紙面の左側)から入射した短波長成分は、入射端から遠い位置 $x_2$ で反射される。一方、長波長成分は、入射端に近い位置 $x_1$ で反射される。その結果、短波長成分と長波長成分との間には、こ

れらの反射位置間の距離 $\Delta x$ の2倍の光路差 $2\Delta x$ が生じる。その結果、この光路差の分だけ長波長成分と短波長成分との時間差を短縮して、波長分散を補償することができる。

【0073】(変形例) 次に、図4を参照して、第1の実施の形態の波長分散補償器の変形例について説明する。図4は、波長分散補償器の変形例の説明に供する構成図である。

【0074】この変形例においては、光路18a上に、チャーブ・グレーティング20aとして、第12チャーブ・グレーティング34および第3チャーブ・グレーティング26を設けてある。

【0075】この第12チャーブ・グレーティング34の格子間隔は連続的に変化させてある。そして、この第12チャーブ・グレーティング34は、 $\lambda a \sim \lambda c$ のプラグ反射波長帯域を有する。従って、第12チャーブ・グレーティング34は、その格子間隔の広い側のグレーティング端34aから入射した、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ および $\lambda_3$ の光信号のうちの、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ の両方の光信号をそれぞれ反射する。その結果、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ の光信号は、それぞれ第12チャーブ・グレーティング34において、波長分散が補償される。

【0076】また、 $\lambda_3$ の光信号は、第1の実施の形態の場合と同様に、第3チャーブ・グレーティング26において反射されることによって、波長分散が補償される。

【0077】(第2の実施の形態) 次に、図5を参照して、第2の実施の形態の波長分散補償器について説明する。図5は、第2の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する構成図である。

【0078】第2の実施の形態の波長分散補償器の光セキュレータ10aは、第1入出力ポート14aおよび第2入出力ポート14bの2つの入出力ポートを有する。第1入出力ポート14aは、第1の実施の形態における入出力ポート14に相当する。また、第1入出力ポート14aに接続された第1光路18は、第1の実施の形態における光路18と同一の構成である。すなわち、第1光路18上には、第1の実施の形態と同一の、第1、第2、および第3チャーブ・グレーティング22、24および26がそれぞれ設けてある。

【0079】一方、第2入出力ポート14bには、第2光路180が接続されている。この第2光路は、第1光路18と同様に、波長分散補償ファイバで形成されている。そして、この第2光路180上には、第1光路18上のチャーブ・グレーティング20の個数と同数の3つのチャーブ・グレーティング200が設けてある。具体的には、第2光路180上に、第4、第5および第6チャーブ・グレーティング220、240および260がそれぞれ設けてある。

【0080】また、第2の実施の形態においては、第1

光路18のチャーブ・グレーティング20の各々の異なるプラグ反射波長帯域の組合せと、第2光路180のチャーブ・グレーティング200の各々の異なるプラグ反射波長帯域の組合せとを、同一の組合せとしてある。

【0081】具体的には、第4チャーブ・グレーティング220のプラグ反射波長帯域を、第1チャーブ・グレーティング22のプラグ反射波長帯域（入a～入b）と同一とする。また、第5チャーブ・グレーティング240のプラグ反射波長帯域を、第2チャーブ・グレーティング24のプラグ反射波長帯域（入b～入c）と同一とする。また、第6チャーブ・グレーティング260のプラグ反射波長帯域を、第3チャーブ・グレーティング26のプラグ反射波長帯域（入c～入d）と同一とする。

【0082】次に、第2の実施の形態の波長分散補償器において、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub>および入<sub>3</sub>の光信号の波長分散をそれぞれ補償する例について説明する。

【0083】先ず、光サーチュレータ10aの入力ポート12に、各光信号を入射する。入射した各光信号は、第1の実施の形態の場合と同様に、第1入出力ポート14aから第1光路18に入射する。そして、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub>および入<sub>3</sub>の光信号は、それぞれ、第1、第2および第3チャーブ・グレーティング22、24および26において反射されることにより、波長分散の補償が図られる。第1光路18において反射された各光信号は、第1入出力ポート14aに入射する。

【0084】次に、各光信号は、第2入出力ポート14bから第2光路180へ入射する。第2光路180に入射した波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub>および入<sub>3</sub>の光信号は、それぞれ、第4、第5および第6チャーブ・グレーティング20、240および260において反射されることにより、波長分散の一層の補償が図られる。

【0085】ここで、図6を参照して、第2の実施の形態の波長分散補償器における波長分散補償について説明する。図6は、第2の実施の形態の波長分散補償の説明に供するグラフである。図6のグラフの横軸は時間（任意単位）を表し、縦軸は光信号強度（任意単位）を表す。

【0086】また、グラフ中の曲線Iは、入力ポート12に入射した段階での光信号（例えば波長入<sub>1</sub>の光信号）の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散が補償されていない。

【0087】また、曲線IIは、第1光路18上のチャーブ・グレーティング20で反射された後の段階での光信号の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散がある程度の補償されている。すなわち、曲線IIは、曲線Iに比べて、時間の広がりが狭くなっているので、波長分散がある程度補償されたこと示す。

【0088】また、曲線IIIは、第2光路180上のチ

ャーブ・グレーティング200で反射された後の段階での光信号の分散の様子を示す。この段階の光信号は、波長分散がさらに補償されている。すなわち、曲線IIIは、曲線IIに比べて、時間の広がりがさらに狭くなっているので、波長分散がさらに補償されたこと示す。

【0089】このように光信号の波長分散の補償を2回行なうことにより、例えば、チャーブ・グレーティングにおける1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きさの波長分散を補償することができる。

【0090】上述した各実施の形態では、これらの発明を特定の材料を用い、特定の条件で構成した例についてのみ説明したが、これらの発明は多くの変更および変形を行うことができる。例えば、上述した実施の形態では、隣り合ったチャーブ・グレーティングのプラグ反射波長帯域どうしを互いに連続させたが、この発明では、各チャーブ・グレーティングのプラグ反射波長帯域どうしは、必ずしも連続していないとも良い。

【0091】また、上述した実施の形態においては、1つの光路上に3つのチャーブ・グレーティングを設けた例について説明したが、この発明では、チャーブ・グレーティングの数は3つに限定されない。この発明では、例えば、2つ若しくは4つ以上のチャーブ・グレーティングを設けても良い。また、チャーブグレーティングの数は、例えば、補償対象の光信号の波長数（例えば、WDMの場合の波長多重数（例えば、16個若しくは32個））と同数としても良い。

【0092】また、上述した実施の形態においては、波長入<sub>1</sub>、入<sub>2</sub>および入<sub>3</sub>の3つの波長の光信号の例について説明したが、この発明では、光信号の波長数は、これに限定する必要は無く、任意の波長数の光信号の波長分散の補償を図ることが可能である。

【0093】また、この発明では、各波長の光信号は、同時に入力ポート12へ入射する必要はない。例えば、1度に1つの波長の光信号のみを入力ポート12へ入射しても良い。

【0094】また、上述した実施の形態では、光路として波長分散補償ファイバを用いた例について説明したが、この発明では、光路を光ファイバに限定する必要はない。例えば、チャーブ・グレーティングどうしを融着したり、コネクタを介して接続しても良い。また、チャーブ・グレーティング間において、光信号に空気中や真空中を直進させても良い。

【0095】

【発明の効果】この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバによれば、互いに異なるプラグ反射波長帯域を有する複数のチャーブドファイバグレーティング（チャーブ・グレーティング）を設ける。このため、互いに異なる複数の波長の光信号の波長分散を、それぞれ個別のチャーブ・グレーティングで補償することができる。その結果、個々のチャーブ・グレーティング

の補償可能波長帯域を、1つの波長の光信号の波長分散の補償に必要な波長帯域だけに限定することもできる。無論、例えば、2つの波長の光信号に対応した波長帯域に限定することもできる。このため、この発明では、個々のチャーブ・グレーティングを、補償可能波長帯域を広げるために長尺化する必要がない。そして、この発明では、光信号の複数の波長にそれぞれ合わせて、複数のチャーブ・グレーティングを設けることができるので、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。従って、この発明によれば、チャーブ・グレーティングを長尺化することなく、広い波長帯域にわたる複数の波長の光信号の波長分散の補償を図ることができる。

【0096】また、この発明の波長分散補償器および波長分散補償ファイバにおいて、ブラック反射波長帯域の波長が短い順に光の入射方向からチャーブ・グレーティングを配置すれば、各波長の光信号は、当該光信号の波長よりも短いブラック反射波長帯域を有するチャーブ・グレーティングを透過することになる。すなわち、各光信号の波長が、当該光信号の透過するチャーブ・グレーティングのブラック反射波長よりも短くなる場合を無くすることができる。その結果、前述したグレーティングのブラック反射波長よりも短波長であるために生じる損失が、各光信号に発生することを回避することができる。このため、チャーブ・グレーティングにおける光信号の強度の損失の発生を抑制することができる。

【0097】また、この発明の波長分散補償器において、光サーキュレータの出入力ポートを複数個とし、光路ごとのチャーブ・グレーティングの異なるブラック反射波長帯域の組合せを、各光路で同一の組合せとすれば、複数の波長の光信号の波長分散の補償を、各波長の光信号についてそれぞれ複数回行なうことができる。その結果、チャーブ・グレーティングにおける1回の反射で補償できる最大時間差以上の大きさの波長分散を補償することができる。このため、より大きな波長分散の補償を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施の形態の波長分散補償器

の説明に供する図である。

【図2】この発明の第1の実施の形態の波長分散補償器を構成する波長分散補償ファイバの説明に供する図である。

【図3】チャーブドファイバグレーティングの説明に供する図である。

【図4】この発明の波長分散補償器の変形例の説明に供する図である。

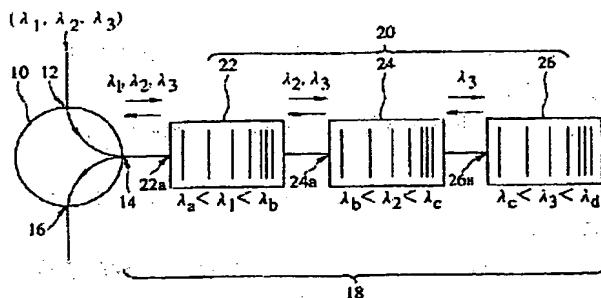
【図5】この発明の第2の実施の形態の波長分散補償器の説明に供する図である。

【図6】この発明の第2の実施の形態の波長分散補償器における波長分散補償の説明に供する図である。

#### 【符号の説明】

- 10、10a：光サーキュレータ
- 12：入力ポート
- 14：入出力ポート
- 14a：第1入出力ポート
- 14b：第2入出力ポート
- 16：出力ポート
- 18：光路、第1光路
- 18a：光路
- 20、20a：チャーブドファイバグレーティング  
(チャーブ・グレーティング)
- 22：第1チャーブ・グレーティング
- 22a、24a、26a：グレーティング端
- 24：第2チャーブ・グレーティング
- 26：第3チャーブ・グレーティング
- 28：波長分散補償ファイバ、光ファイバ
- 30：コア
- 32：クラッド
- 34：第12チャーブ・グレーティング
- 34a：グレーティング端
- 180：第2光路
- 200：チャーブ・グレーティング
- 220：第1チャーブ・グレーティング
- 220a、240a、260a：グレーティング端
- 240：第2チャーブ・グレーティング
- 260：第3チャーブ・グレーティング

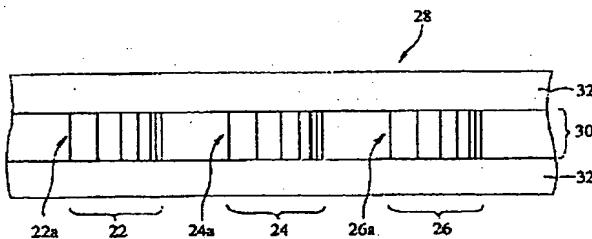
【図1】



10: 光サーキュレータ 12: 入力ポート  
 14: 入出力ポート 16: 出力ポート  
 18: 第1光路(光路) 20: チャーブ・グレーティング  
 22: 第1チャーブ・グレーティング  
 22a, 24a, 26a: グレーティング端  
 24: 第2チャーブ・グレーティング  
 26: 第3チャーブ・グレーティング

第1の実施の形態

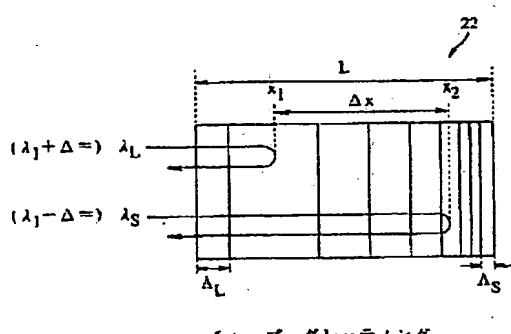
【図2】



28: 波長分散補償ファイバ  
 30: コア  
 32: クラッド

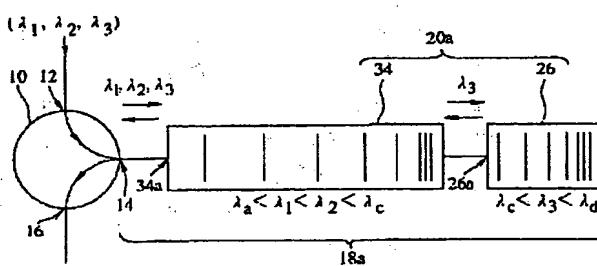
波長分散補償ファイバ

【図3】



チャーブ・グレーティング

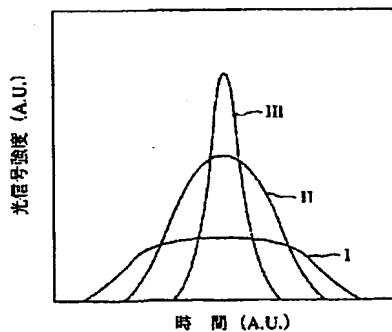
【図4】



18a: 光路  
 34: 第1チャーブ・グレーティング  
 34a: グレーティング端  
 20a: チャーブ・グレーティング  
 20a: 第2チャーブ・グレーティング

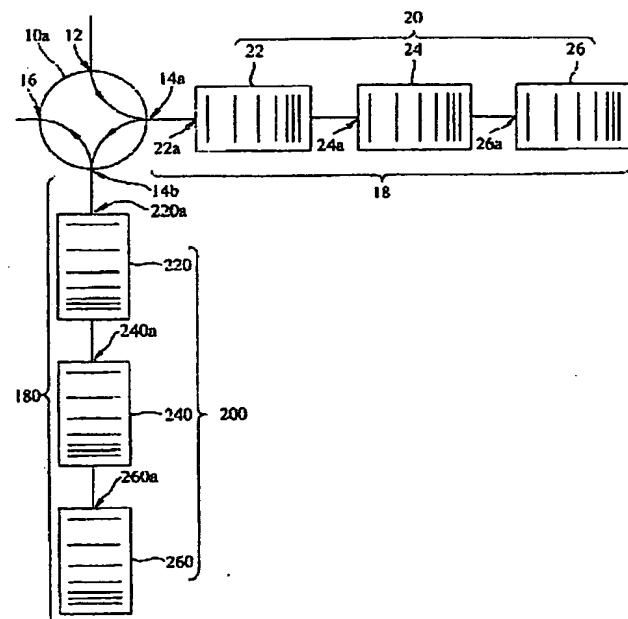
変形例

【図6】



第2の実施の形態における波長分散補償

【図5】



10a : 光サーキュレーター  
 14a : 第1入出力ポート  
 14b : 第2入出力ポート  
 180 : 第2光路  
 200 : チャープ・グレーティング  
 220 : 第4チャープ・グレーティング  
 240 : 第5チャープ・グレーティング  
 260 : 第6チャープ・グレーティング

第2の実施の形態

